UNA MANOVRA DELICATA SOTTO L'AZIONE DEL TIMONE POSTO NEL SOFFIO DELLA TURBINA.

UN ELICOTTERO A REAZIONE più silenzioso di un micromotore

Finora la propulsione a reazione dava luogo, fra l'altro, a notevole tormento del rotore e a un rumore quasi insopportabile. L'adozione di un sistema basato sulla eiezione di aria compressa dalla estremità delle pale permette di realizzare un'autonomia media, consente sensibili semplificazioni meccaniche e può rendere silenziose le evoluzioni degli elicotteri.

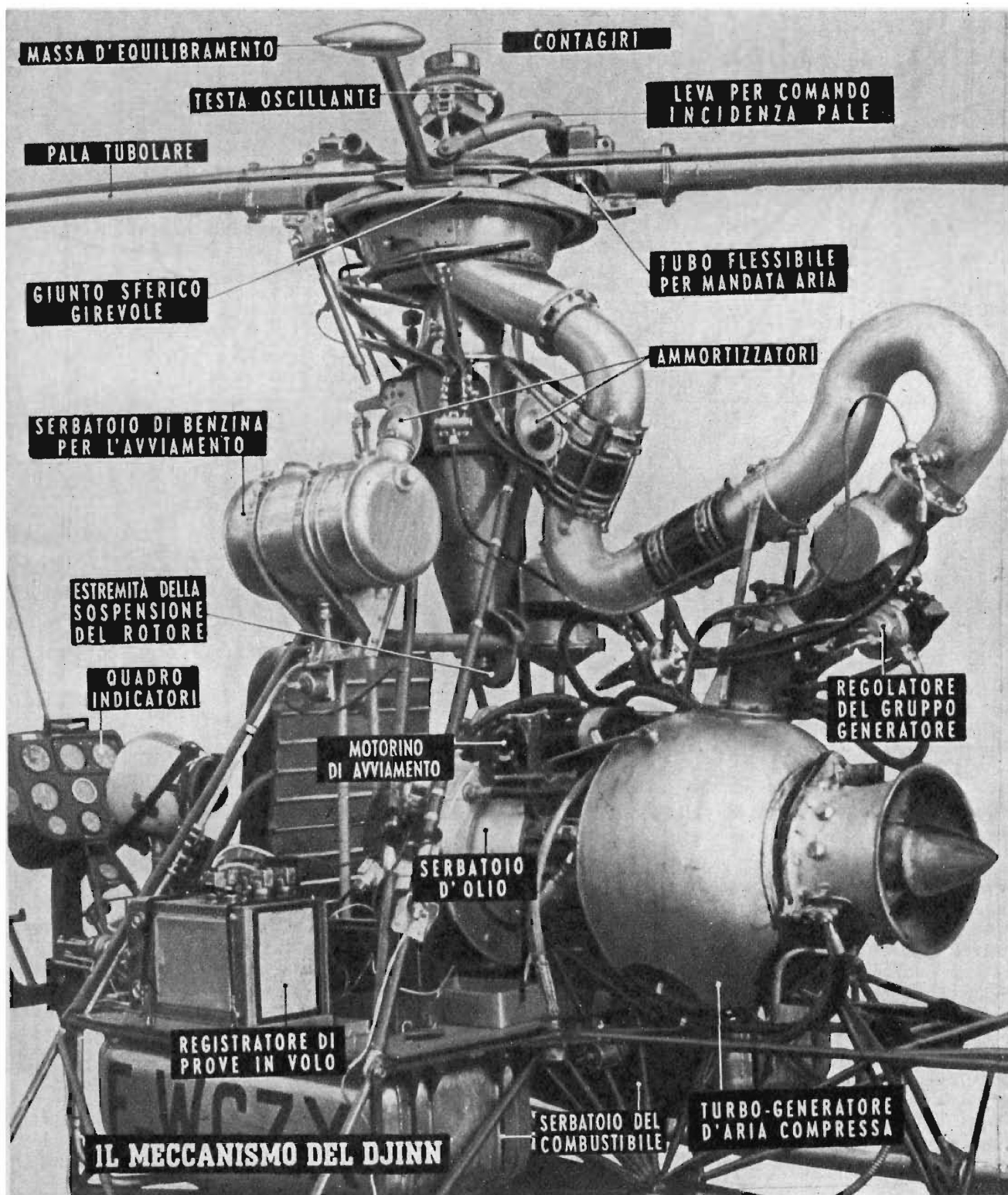
COLORO che hanno assistito alla recente presentazione del Djinn — un piccolo elicottero della S.N.C.A.-S.O., con propulsione a getto di aria dalla estremità delle pale — sono stati piacevolmente sorpresi dalla silenziosità dell'apparecchio: il ronzio delle pale ed il sibilo dell'aria uscente dagli ugelli erano appena percepibili, e per i profani ciò contrastava stranamente col ricordo del rumore assordante che di solito delizia quanti seguono da vicino le evoluzioni di un elicottero dotato di altri sistemi a reazione.

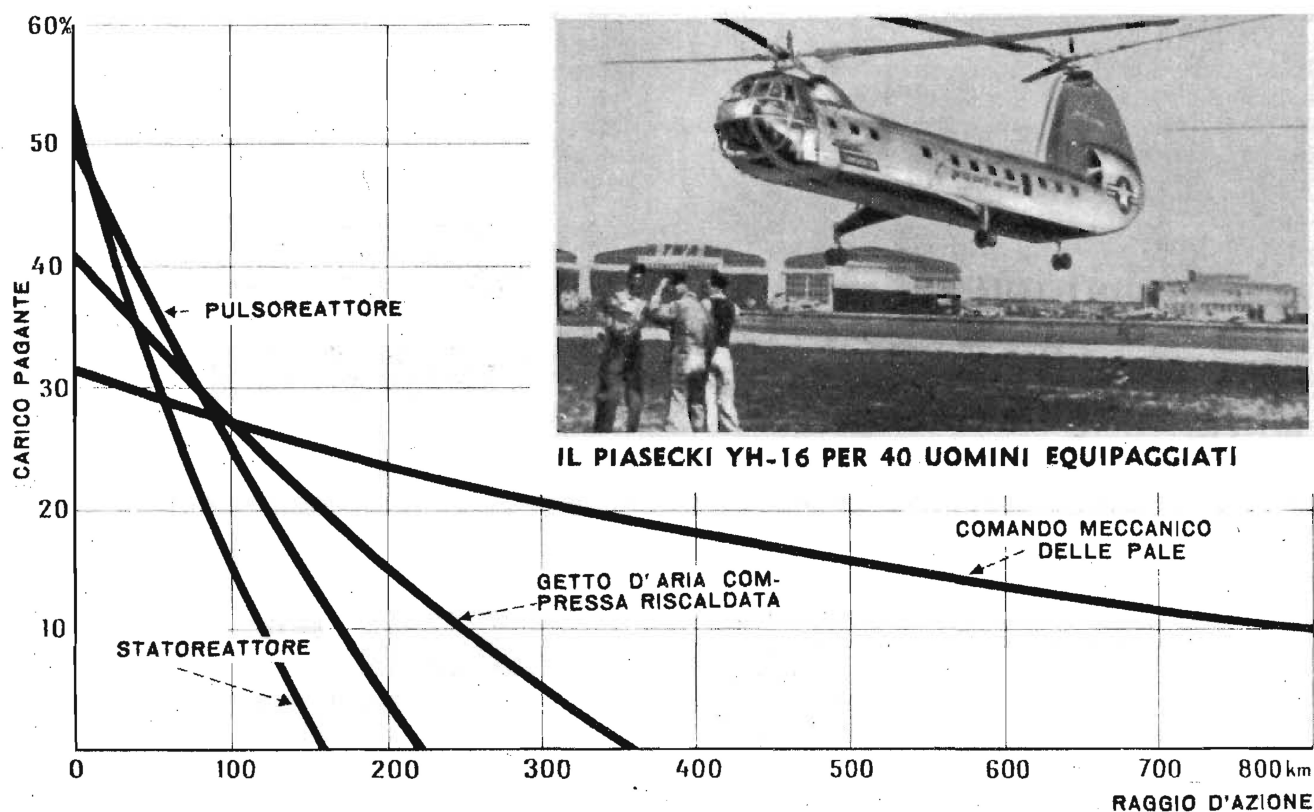
Ci si può chiedere perchè questo sistema di propulsione sia stato adottato così tardi, tanto più che un principio analogo, sebbene applicato in ben diverso settore delle costruzioni aeronautiche, era già stato sperimentato in Italia nel 1931 su progetto Forlanini. Il famoso inventore e costruttore lombardo aveva ideato un sistema *a reazione* per ottenere la dirigibilità di una aeronave; per provarne l'efficienza e la praticità, costruì quello che doveva essere il suo ultimo dirigibile semirigido, battezzato *Omnia Dir*, il quale era munito alle estremità prodiera e poppiera di due gruppi di cinque ugelli (uno secondo l'asse dell'aeronave e gli altri quattro in croce, normali ad esso, in direzione orizzontale e verticale) la cui apertura poteva essere comandata dal pilota. Un motore alternativo da 160 cav azionava un compressore centrifugo che, mediante apposita condotta, forniva l'aria compressa ai due gruppi di ugelli; la forza di reazione provocata dallo scarico dell'aria compressa doveva servire a manovrare l'aeronave. Nella pratica realizzazione, l'insufficiente potenza dei getti rese la manovra lenta ed incerta, e l'aeronave non raggiunse un suc-

cesso tecnico tale da giustificare la prosecuzione delle esperienze. Restava però acquisito il concetto dell'uso della reazione di un getto di aria compressa per ottenere effetti di spinta su un mezzo aereo.

Ciò che aveva determinato l'insuccesso di Forlanini e che aveva tanto ritardato l'avvento della propulsione a getto d'aria era la mancanza di un generatore di aria compressa nel quale coesistessero leggerezza, modesto consumo, ed elevati rapporti di compressione.

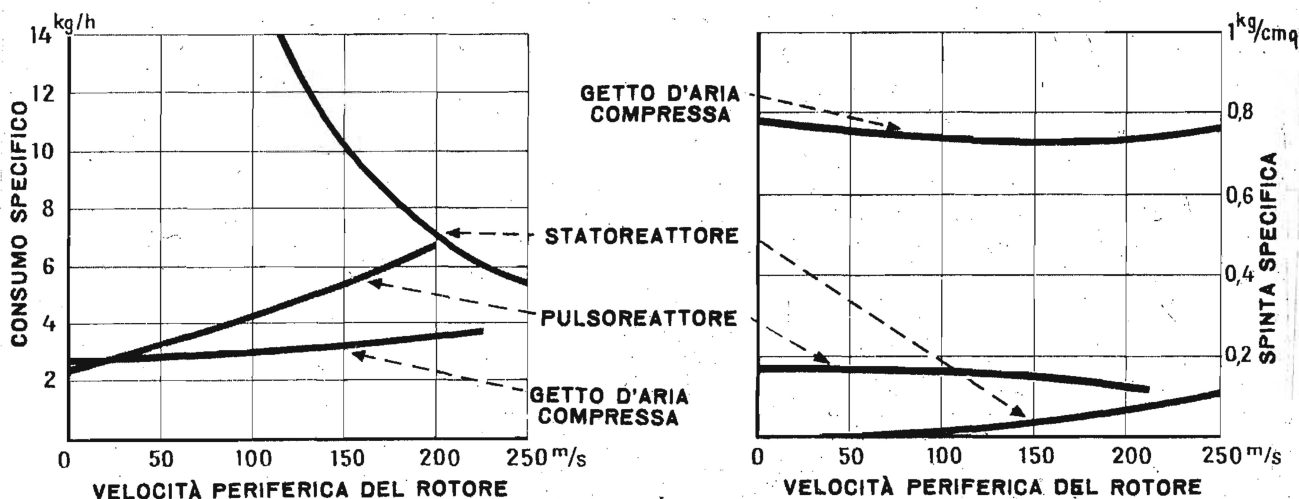
La decina d'anni trascorsa dall'inizio delle costruzioni in serie di elicotteri non è stata sufficiente a determinare una netta differenziazione fra i vari tipi di apparecchi in relazione al loro impiego. Ciononostante si sta assistendo ad una evoluzione abbastanza decisa per quanto riguarda i sistemi di propulsione, che naturalmente sono strettamente legati al raggio d'azione di cui si vuol disporre. Il motore a scoppio, che pur aveva dato prestazioni notevoli, sta subendo da qualche tempo la concorrenza della propulsione a rea-

IL MECCANISMO DEL DJINN

RENDIMENTO DELL'ELICOTTERO CLASSICO E DEGLI ELICOTTERI A REAZIONE

IL PIASECKI YH-16 PER 40 UOMINI EQUIPAGGIATI

L'XH-26, LA JEEP AEREA, A PULSOREATTORE

TRE HILLER HORNET CON STATOREATTORI

Le curve indicano, in funzione del raggio d'azione, il carico pagante (carico utile meno il combustibile) in percentuali del peso al decollo. L'elicottero classico, con comando meccanico delle pale, è il solo che possa raggiungere, del resto con un piccolo carico pagante, raggi d'azione maggiori di 400 km; ma il suo carico pagante non sorpassa il 30% neppure su brevissimi percorsi. Al contrario, quello degli elicotteri propulsi da statoreattori o da pulsoreattori può giungere al 50%, ma il raggio d'azione possibile resta piccolo e non supera i 150÷200 km. L'elicottero azionato da un gruppo compressore che manda l'aria alla estremità delle pale ha caratteristiche intermedie: carico pagante all'incirca del 40% su piccoli percorsi in conseguenza del peso del gruppo compressore, ma raggio d'azione fino a 350 km grazie al consumo relativamente piccolo. La curva della figura si riferisce al dispositivo nel quale il getto di aria compressa è riscaldato mediante la combustione di petrolio all'estremità della pala. Con aria fredda (soluzione del Djinn) le prestazioni sono minori; il gruppo compressore deve essere più potente e più pesante, ed il consumo è maggiore del 20%. Gli elementi forniti dal diagramma hanno però soltanto un valore indicativo in quanto possono variare a seconda del tonnellaggio dell'apparecchio e della leggerezza maggiore o minore dei motori.

CONSUMO E SPINTA IN FUNZIONE DELLA VELOCITÀ PERIFERICA DEL ROTORE

● Le curve di questo diagramma danno, in funzione della velocità periferica del rotore: a sinistra, il consumo specifico espresso, come per tutti i reattori, in chilogrammi di combustibile per kg di spinta e per ora; a destra, le spinte specifiche in chilogrammi per centimetro quadrato della sezione trasversale del reattore. Si vede che lo statoreattore, per avere un consumo ed un ingombro accettabili, esige una velocità periferica elevata, mentre per il pulsoreattore occorre una velocità periferica piccola. La scelta della velocità periferica del rotore azionato dal getto d'aria compressa non è invece influenzata nè dal consumo, nè dall'ingombro. Le curve relative alla propulsione mediante getto d'aria compressa si riferiscono ad un getto riscaldato, di media pressione; per un getto di aria fredda, come nel caso del Djinn, si prevede un consumo maggiore del 20% all'incirca.

zione, soprattutto negli elicotteri aventi modesto raggio d'azione (che vanno diffondendosi sempre di più) sui quali si possono impiegare con vantaggio vari tipi di reattori.

Per sostituire l'aeroplano bimotore *Douglas DC*-3, molto usato sulle linee civili di tutto il mondo per percorsi da 400 a 500 km, già da tempo si è pensato all'elicottero. La Società Britannica BEA è passata ad esperimenti pratici, se ne è parlato in Francia, e recentemente la società belga SABENA ha iniziato un servizio regolare sul tragitto Bruxelles-Parigi; anche gli esercenti dei trasporti aerei negli Stati Uniti si sono orientati verso le conclusioni cui sono giunti gli studi europei: capacità da 30 a 50 passeggeri, raggio d'azione da 400 a 500 km, velocità di crociera 250 km/h, apparecchi plurimotori ma con possibilità di volo anche con un motore fermo.

Leggerezza o consumo?

Per numerosi impieghi si può tuttavia accontentarsi di raggi d'azione minori, come nel caso dell'elicottero-gru e dell'elicottero agricolo, i cui rendimenti sono soprattutto legati al carico che possono sollevare.

Il rendimento del trasporto mediante aerei non può valutarsi in base al consumo di combustibile; ciò è ancora più vero per l'elicottero. Per quest'ultimo il costo elevato aumenta le quote di ammortamento ed assicurazione; la manutenzione è più onerosa; i percorsi minori riducono la durata delle ore di volo rispetto a quelle necessarie per le varie operazioni a terra. Come conclusione, l'ora di volo dell'elicottero costa molto più cara di quella di un aereo di uguale potenza.

L'opportunità di sostituire un motore pesante e costoso, con un motore più leggero ma di maggior consumo, è stata studiata da parecchi tecnici: in prima approssimazione si tratta, come si è detto, soltanto di un problema di raggio d'azione.

Secondo un esperto in materia, la sostituzione di un motore a scoppio con un turbopropulsore che pesa in media 2,5 volte meno del motore a scoppio di uguale potenza, ma che consuma 1,65 volte di più, è vantaggiosa dal punto di vista del carico pagante fino a distanze che varino, a seconda della potenza, tra i 1100 ed i 1300 km. Alle distanze medie d'impiego, per esempio a 300 km, questo vantaggio permette quasi di raddoppiare il carico pagante. Queste conclusioni sono confermate dagli ultimi progetti dei costruttori americani più quotati, che finora avevano prodotto soltanto apparecchi muniti di motori a scoppio. Infatti si sta studiando la trasformazione del quadriposto *Sikorsky S*-52, del triposto *Bell* 47, del triposto *Kaman K*-225, ed anche quella degli apparecchi per 30 e fino a 50 passeggeri, *Piasecki XH*-16 e *Sikorsky S*-56: su tutti dovrebbero essere sistemati turbopropulsori Turboméca e Boeing.

L'elicottero richiede un turbopropulsore speciale

Perchè i costruttori di elicotteri hanno tanto atteso per ricorrere ai turbopropulsori? Anzitutto mancano per ora sul mercato turbopropulsori di piccola potenza, quali sarebbero necessari per elicotteri di modesto tonnellaggio; inoltre i congegni di questo tipo non sono adatti ad azionare il rotore di un elicottero come si può ben capire

pensando che l'albero da cui deriva la potenza per il propulsore è quello stesso che collega la turbina al compressore.

Mentre nel motore a scoppio la potenza motrice è poco influenzata da una variazione della resistenza che le è opposta, nel turbopropulsore avviene il contrario; pertanto il turbopropulsore non è adatto per le manovre che richiedono pronta ripresa, e questo inconveniente, già avvertito sugli aerei, è molto più sensibile sugli elicotteri.

Queste difficoltà di principio possono essere risolte con un sistema teoricamente molto semplice, già realizzato da Boeing, consistente nella duplicazione della turbina: una girante aziona il compressore; l'altra, attraverso un albero coassiale col primo, trasmette l'energia da utilizzare per la propulsione. In tal modo la turbina può sopportare variazioni di velocità e di sforzo resistente molto maggiori; la doppia girante inoltre facilita l'avviamento del gruppo, semplifica la sua regolazione, migliora la ripresa.

La propulsione a reazione ha il vantaggio della semplicità

Negli elicotteri l'impiego della turbina a gas per produrre aria compressa destinata ad essere espulsa all'estremità delle pale assicura questa stessa indipendenza meccanica fra il generatore di potenza e l'organo utilizzatore (il rotore); in questo caso sono evitati la complicazione ed il peso della doppia girante, in quanto è sufficiente avere la sola turbina del compressore. La teoria e l'esperienza mostrano che questo dispositivo può fare vantaggiosa concorrenza alla propulsione realizzata mediante reattori sistemati alla estremità delle pale.

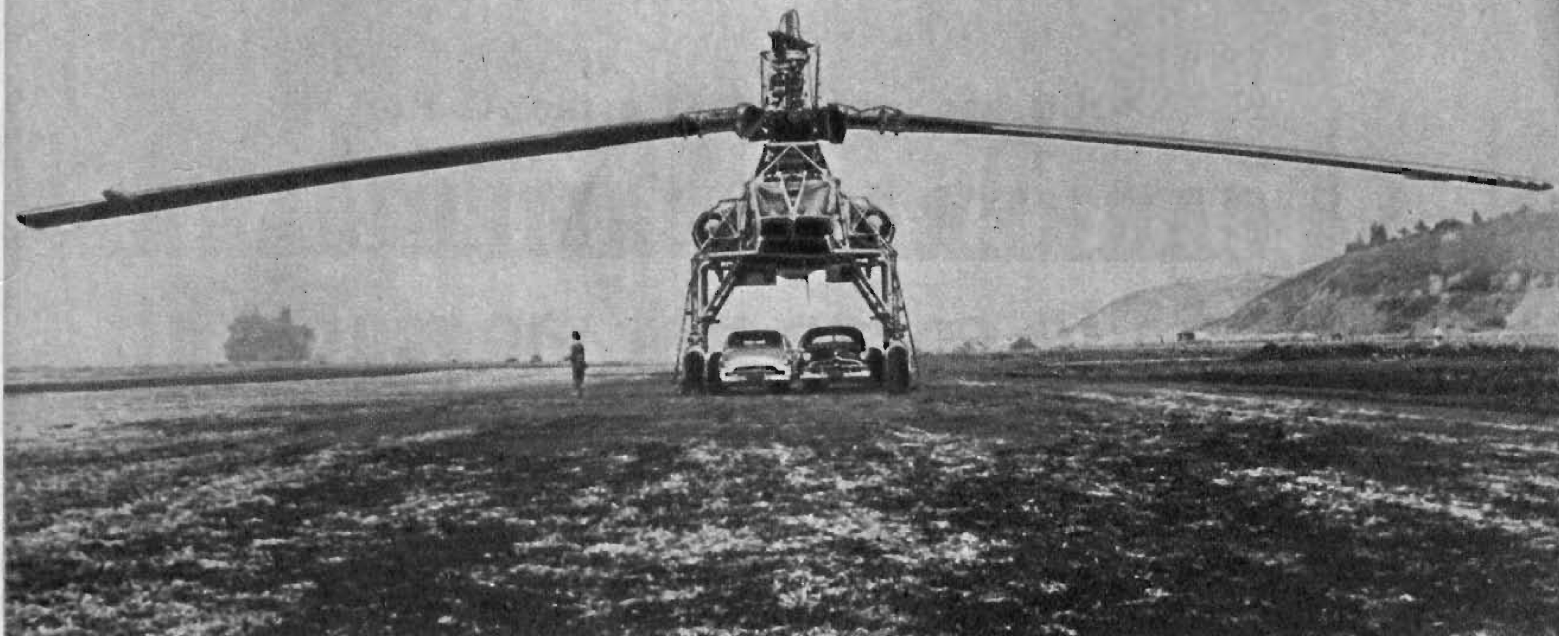
I motivi che consigliano di applicare la propulsione a reazione agli elicotteri differiscono notevolmente da quelli che ne hanno determinato il successo sugli aerei. La reazione, soprattutto nella forma di turboreattore puro, è tanto più conveniente sull'aereo quanto maggiore è la sua velocità: è una questione di rendimento propulsivo, legata al rapporto tra la velocità del velivolo e quella del gas del getto. Il motore è leggero, ed il suo rendimento finisce per superare quello del motore a scoppio e dell'elica; la diminuzione dell'autonomia è dovuta al forte aumento della resistenza che si verifica negli aerei veloci.

Sull'elicottero la propulsione a reazione, realizzabile con reattori sistemati alla estremità delle pale, si può applicare a tutti gli apparecchi, siano essi veloci o lenti. Infatti il suo rendimento è legato alla velocità periferica del rotore che, in prima approssimazione, *non* dipende da quella dell'elicottero. Nell'aereo l'efficienza dell'elica scende rapidamente quando le estremità dell'elica si avvicinano alla velocità del suono; nell'elicottero lo stesso fenomeno si verifica per la pala avanzante del rotore, il quale è inoltre frenato dal distacco dell'aria che si manifesta sulla pala retrocedente (a questo proposito si tenga presente che difficilmente si supera una velocità periferica da $180 \div 200$ m/sec).

Il rendimento propulsivo (rapporto fra la potenza utile e quella spesa) risulta poco elevato; ne consegue un forte consumo, da cui deriva una notevole riduzione del raggio d'azione. Questo inconveniente è compensato da alcuni vantaggi sostanziali: soppressione di qualunque trasmissione meccanica; abolizione dell'elica anticoppia; estrema semplicità dei motori. In tal modo il bilancio è spesso a favore del sistema a reazione, sicchè apparecchi come il Djinn possono sollevare un carico utile superiore al loro peso a vuoto.

I difetti dei reattori alla estremità delle pale

Per realizzare l'impiego della propulsione a reazione sono stati sperimentati o proposti, per essere montati all'estremità delle pale, reattori d'ogni tipo. Il più semplice, lo statoreattore — nel quale la compressione dell'aria è ottenuta senza ricorrere ad organi mobili ma soltanto per effetto

L'AVVIAMENTO AD ARIA COMPRESSA DEI PULSOREATTORI DI UN ELICOTTERO MARQUARDT

● Lo Hugues XH-17, il più grande elicottero del mondo con rotore di 41 m di diametro, è dotato di sistema di propulsione a reazione, e l'aria compressa è prelevata da due turboreattori. Altri prototipi di elicotteri-gru basati su principi analoghi sono già stati ordinati a tre costruttori americani.

della velocità — è stato impiegato fin dal 1947 da Mac Donnell sul *Little Henry*, poi da Hiller sull'*Hornet*. I vantaggi sono la semplicità, la leggerezza e l'assenza di qualsiasi parte mobile; i maggiori inconvenienti sono il consumo elevato (8 volte quello di un turboreattore, donde la necessità di avere una velocità periferica delle pale abbastanza grande per migliorarlo) e gli effetti nocivi della forza centrifuga sulla resistenza meccanica della velatura rotante ed anche sulla omogeneità della combustione.

Il pulsoreattore — nel quale l'immissione dell'aria viene ritmicamente interrotta — è stato applicato anch'esso su vari apparecchi. Rispetto al sistema con statoreattore il consumo risulta ridotto del 30÷40%; si lamentano invece scarsa durata, forti vibrazioni e notevole rumore.

A più riprese è stato pure proposto l'impiego del turboreattore, ma nessuno dei progetti relativi è stato realizzato perchè le pale — che verrebbero fortemente cimentate per flessione e trazione in conseguenza dell'ingente peso del congegno — risulterebbero troppo pesanti.

La reazione mediante getto di aria compressa

L'impiego di aria compressa prodotta nella fusoliera ed espulsa all'estremità di pale non è nuovo; l'elicottero *Doblhoff*, che volò in Austria durante la guerra, applicava il principio già sfruttato da Forlanini, ma l'utilizzazione di una turbina a gas offre varie soluzioni.

Evidentemente si può, come mediante un motore a scoppio, ottenere l'aria compressa da un compressore speciale azionato da una turbina; si può anche prelevare una parte dell'aria compressa fornita dallo stesso compressore della turbina a gas, sia dallo stadio finale, sia (naturalmente ad una pressione minore) dai primi stadi; si possono infine convogliare i gas di scarico della turbina alla estremità delle pale impiegandoli direttamente ovvero previo raffreddamento, miscelandoli con aria fredda prelevata dal compressore. Ciascuna di queste soluzioni consente sia di utilizzare l'aria compressa od i gas così come arrivano agli eiettori, sia di accrescerne la velocità mediante iniezione di combustibile. Il motore risulta più pesante, e la circolazione del gas all'interno delle pale presenta problemi delicati, ma il consumo può essere molto basso.

Delle soluzioni che abbiamo enumerato, quelle che sono basate sulla miscela costituita dai gas di scarico e dall'aria compressa fresca sono accettabili consentendo l'impiego di leghe leggere grazie all'abbassamento della temperatura dei gas. Pur presentando maggiore consumo, l'impiego esclusivo di aria compressa fredda assicura il massimo di semplicità: questa è la soluzione scelta da Doblhoff ed adottata anche per il Hugues *XH-17*, e per gli apparecchi della S.N.C.A.S.O.

La formula definitiva per la propulsione a reazione non si è ancora delineata; lo si può giudicare dai tentativi del costruttore del *Djinn* che esita fra le camere di combustione dei primi apparecchi e gli eiettori freddi dell'ultimo. Ciononostante, l'attuale elicottero a reazione, leggero, a buon mercato, di consumo accettabile, può già trovare numerose applicazioni.

L'uso dell'aria compressa presenta anche il vantaggio di contribuire all'aumento della quota di tangenza degli elicotteri senza che ciò comporti una eccessiva rumorosità presso il suolo. Infatti, eseguita la partenza e la prima parte della salita con getto freddo e perciò quasi silenzioso, il pilota può aumentare notevolmente la potenza, ricorrendo alla iniezione di combustibile soltanto in secondo tempo, quando il forte rumore proveniente dagli eiettori non presenta più alcun inconveniente. Realizzandosi un aumento della quota di tangenza saranno così rese possibili quelle missioni in regioni d'alta montagna che finora superavano le possibilità pratiche di questi apparecchi.

Camillo Rougeron